Département de Physique



Université Ibn Tofail Faculté des Sciences Kenitra
جامعة ابن طفيل كلية العلوم القنيطرة

UNIVERSITÉ IBN TOFAIL
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

MÉMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

FILIÈRE : SMP

Titre du rapport

Elaboré par:

Youssef EL MERABET
Youssef EL MERABET
Youssef EL MERABET

Encadré par:

Pr. Mr H NAJIB

Soutenu le 19 Juin 2015 devant le Jury :

Prenom et Nom	*Président*
Prenom et Nom	*Encadrant*
Prenom et Nom	*Examinateur*

Année Universitaire : 2014 – 2015

P F E

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Youssef El merabet, pour avoir dirigé et guidé notre PFE et pour nous avoir proposé ce sujet de recherche…

Nous remercions tout d'abord M. Nom et Prenom et M. Nom et Prenom, Professeurs à la Faculté des Sciences de Kenitra pour avoir gentiment accepté de juger ce travail et participé à notre jury.…

…

UNIVERSITÉ IBN TOFAIL
Département de Physique

Titre du rapport

Résumé :

Le présent travail, porte essentiellement sur le principe de fonctionnement des Lasers et leurs applications en dermatologie.

La première partie est consacrée à des généralités sur les lasers :leur historique, leurs propriétés fondamentales et leur principe de son fonctionnement.

La deuxième partie porte sur les principaux types de lasers appliqués en dermatologie :

- Laser Néodyme : YAG
- Laser à CO2
- Laser à excimère

Mots-clés : Mot1, Mot2, ...

Abstract :

Keywords : Mot1, Mot2, ...

SOMMAIRE

Liste des Figures

Liste des Tables

Chapitre 1

Introduction Générale

Le mot L.A.S. E. R. est un acronyme de "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Amplification de la Lumière par Emission Stimulée de la Radiation).
Dans les années 60 les premiers lasers ont vu le jour. Très vite, leur lumière magique a trouvé de multiples applications: les lasers se sont installés dans notre vie quotidienne au cœur de nos lecteurs de disques ou dans les lecteurs des codes barres dans les supermarchés. Ils font la beauté des spectacles qui portent leurs noms. Ce sont aussi de grands instruments de traitement à grande précision. En effet, dans l'industrie, ils coupent, ils soudent et ils percent.
En médecine, ils réparent ou brûlent les zones malades sans toucher aux parties saines. Les faisceaux rectilignes des lasers servent aussi à aligner les routes des tunnels. Mais, pourquoi les lasers sont-ils capables de faire toutes ces choses là alors que la lumière ordinaire émise par le soleil ou une lampe classique ne peut pas les réaliser ? C'est parce que la lumière laser est une lumière cohérente, concentré et composé de photons assimilés à de petits grains d'énergie strictement identiques. Toutes les applications précitées découlent de ces propriétés.

1.1 Historie

L'interaction de la lumière avec la matière était l'une des préoccupations évoquées par l'imagination humaine depuis l'existence de l'homme, depuis que l'homme essaie pour la première fois de concentrer les rayons solaires. Pondant lentement seul le soleil a constitué une source de lumière assez intense pour donner lieu à une utilisation à grande distance de cette forme d'énergie.
Il fallut attendre plusieurs siècles de considérations de plus en plus fines sur l'interaction

de la lumière avec la matière pour réaliser certains succès. C'est ainsi qu'en 1905 Einstein publia un article dans lequel il posait l'hypothèse que la lumière est constituée de quanta d'énergie.

Il postula par la même occasion que l'énergie associée au photon est directement liée à sa fréquence par la relation $E = h$ où h est la Constante de Planck, la fréquence du photon.

Douze années plus tard, en 1917, il présenta finalement sa théorie sur l'émission stimulée selon laquelle le matériau pouvait émettre de la lumière s'il est correctement excité. Les bases théoriques de fonctionnement du laser étaient alors jetées mais de nombreux chercheurs pensaient qu'il était techniquement impossible de construire un dispositif produisant de la lumière par émission stimulée. Un grand pas fut en 1928 lorsqu'un groupe de chercheurs met en évidence expérimentale l'émission stimulée confirmant ainsi la prédiction d'Einstein.

Au cours de la seconde guère mondiale, les États-Unis ont voulu développer de nouveaux systèmes de radar (acronyme de Radio Detecting And Ranging) plus précis. Dans ce but, Charles Towner a développé en 1947 une source de micro-onde à plus haute fréquence, soit de 24 GHz. C'est ainsi qu'il fabriqua en 1953 le premier maser (acronyme de Microwave Amplifier by Stimulated Emission of Radiation) en collaboration avec certains de ses étudiants. Ce maser utilisait de l'ammoniac (NH_3 gazeux) et produisait un rayonnement monochromatique à une langueur d'onde de 1,25 nm. Au cours des années qui suivaient de nombreux autres masers furent fabriqués. Tous fonctionnaient dans le domaine des "microwave", le pas vers le domaine de la lumière visible et de ses courtes longueurs d'ondes semblant infranchissables.

Les expérimentateurs de l'époque entrevoyaient déjà les possibilités d'un maser optique, mais concevaient difficilement comment le construire.

En 1957, Towner commença à considérer les problèmes réalisés à la fabrication d'un dispositif semblable au maser, mais émettant du rayonnement infrarouge ou de la lumière visible, en collaboration avec Arthur Schawlow. Il publia les premières propositions détaillées de maser optique. Ils considèrent alors l'utilisation d'une cavité résonnante pour amplifier la lumière. Ils déposaient une demande de brevet en 1958. En 1960, ils obtiennent enfin le premier brevet de laser mais celui-ci ne fut construit que plus tard. Le premier laser fonctionnel fut fabriqué par Théodore Maiman en 1960. Il découvrit que les ions de chrome d'un rubis émettaient de la lumière verte d'une lampe au xénon. En déposant une couche d'aluminium à chaque extrémité de la tige de rubis, Maiman réussit à produire le premier laser optique. L'année suivante le laser à hélium-néon (He-Ne), l'un des plus couramment utilisés aujourd'hui, fut inventé. Notons que le terme laser ne fut pas utilisé avant 1965. Depuis l'invention du laser, les modes de production de rayonnements laser se sont multipliés. On compte maintenant pratiquement autant de lasers différents qu'il y a d'applications pour ceux-ci.

Actuellement, la technologie des lasers ne cesse de se développer grâce à la multiplication de ses domaines d'applications. En 2002, il y avait 200.000 lasers installés dans le monde. Le coût total de la machine-outil (c'est à dire machine + laser) a atteint 4 Milliards d'Euros (35 en Europe, 25 au Japon, 25 aux USA et 15 pour le reste du monde); le laser présente 10 du coût total de la machine-outil. Parmi ces 4 Milliards, les systèmes CO2 de puissance, pour découpe et soudage, ont absorbé environ 40 ; 20 pour la réparation électronique et microélectronique. Le coût mondial a atteint environ 10 Milliards d'Euros en 2010.



Chapitre 2

LASER ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

2.1 PROPRIÉTÉS DE LA LUMIÈRE LASER

Un faisceau laser est unidirectionnel, intense, monochromatique et cohérent.

- Unidirectionnel
Le faisceau se dirige dans une direction unique. Cependant, il peut y avoir une divergence de un degré d'arc provoquée par la diffraction lorsque le faisceau se propage dans un milieu. Ainsi, le diamètre du faisceau peut augmenter jusqu'à 1 mm par mètre parcouru. La divergence d'un faisceau laser dans l'air est approximativement :

$\theta = \lambda / w_0$
Où la divergence mesurée en radians, λ la longueur d'onde et w0 la largeur minimale du faisceau.

-Intense
Les lasers émettent une lumière très intense. La lumière est très concentrée sur une toute petite surface (quelques millimètres carrés).

Intensité de lumières conventionnelles comparées aux lasers

sources	Puissance	Intensite
Soleil	4.10^{26}	(à la surface de la terre) 1400
Ampoule à incandescence	100	(à 1 m de l'ampoule) 8
Laser He-Ne	5.10_{-3}	1100
Laser à CO_2	20	4.10^3

- **Monochromatique** Contrairement aux sources habituelles de lumière qui sont polychromatiques (constituées de plusieurs longueurs d'onde), la lumière produite par un laser est monochromatique ou quasi-monochromatique. Elle contient très peu de longueurs d'onde : notion de bandes spectrales étroites (Fig.I.1).

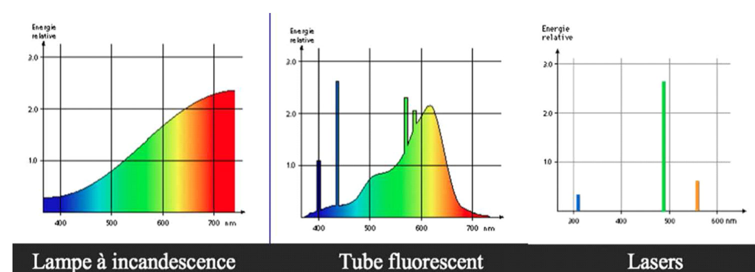


FIGURE 2.1: Dispersion spectrale selon la source de lumière

-Cohérent
La lumière produite par un laser est ordonnée dans le temps et dans l'espace. Ainsi, chaque photon qui la compose oscille en même temps, de la même manière. La directivité de la lumière laser est d'ailleurs une conséquence de sa cohérence(Fig.I.2).

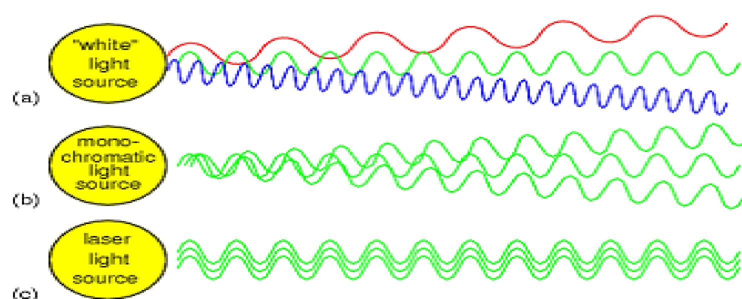


FIGURE 2.2: Directivité et cohérence de la lumière Laser

2.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU LASER

Un laser est une source de rayonnement dans laquelle un photon émis par un atome excité est contraint d'extraire de l'énergie des autres atomes excités, créant par la même

d'autres photons et augmentant ainsi l'amplitude du champ électromagnétique originale. Il faut donc disposer d'un grand nombre d'atomes excités qui soient susceptibles d'être stimulés. Trois éléments sont donc nécessaires:
- Un milieu actif: des atomes émetteurs de rayonnement.
- Un pompage produisant une inversion de population.
- Une cavité résonante : une réaction optique faisant l'amplification.

2.2.1 Milieu actif

C'est un milieu qui possède une structure appropriée des niveaux d'énergie discrets s'excitant facilement et possédant la capacité de stocker l'énergie reçue de l'extérieur. L'émission laser se fait à une longueur d'onde déterminée par deux états d'énergie de cette structure, sur une transition où le système présente une émission spontanée correspondant à une duré de vie relativement longue du niveau supérieur (état métastable).

2.2.2 Population des niveaux et Distribution de Boltzmann

Considérons un système de N_{tot} atomes par unité de volume, à la température absolue T, caractérisé pour simplifier par deux états d'énergies E_1 (état fondamental) et E_2(état excité), de populations (ou densités d'atomes) respectives N_1 et N_2, tel que :
$N_{tot} = N_1 + N_2$
$\Delta E = E_2 – E_1 = h\nu$
À l'état d'équilibre thermique, les populations N_1 et N_2 obéissent à la statistique de Boltzmann :
$N_2/N_1 = (g_2/g_1).exp(-/K_BT)$

g1 et g2 sont les multiplicités des niveaux.
A la température ambiante, la plupart des atomes se trouvent dans l'état fondamental, soit $N_{tot} = N_1$

2.2.3 Probabilités de transition et Coefficients d'Einstein

Les processus de transition qui résultent de l'interaction entre un atome et un rayonnement électromagnétique sont : l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée. Dans chaque cas, l'atome subit une modification de son énergie égale à ΔE.

Considérons un rayonnement incident de densité spectrale $\rho()$ et de fréquence fourni, par exemple, par une source thermique assimilable à un corps noir. Dans ce cas, la densité $\rho()$ est donnée par la relation de Planck :

- Absorption

Si le milieu atomique est soumis à un champ électromagnétique et que les photons de fréquence sont présents, l'atome peut en absorber un et se trouver ainsi porté de l'état d'énergie E1 à l'état d'énergie supérieure E2. Il y a disparition du quantum du champ au profit du système atomique.

Soit dN1 = -dN2 la variation du nombre d'atomes dans l'état E1 pendant un intervalle de temps dt ; elle est proportionnelle au nombre N1 et à la densité $\rho()$:

$dN1 = -B12\rho()N1dt = dN2$

puisque $dNtot = dN1 + dN2 = 0$

B_{12} est appelé : coefficient d'Einstein de probabilité d'absorption (Fig. 3)

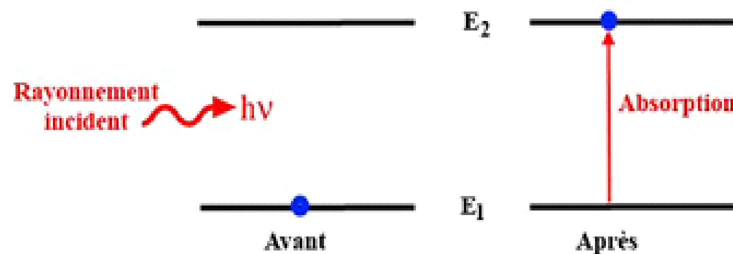


FIGURE 2.3: Absorption du rayonnement

b) Émission spontanée

Un atome excité ne reste pas indéfiniment dans l'état E2, mais tend toujours à revenir à l'état fondamental au bout d'un temps τ appelé : durée de vie de la transition entre les deux niveaux considérés (Fig. I.4). Au cours de ce processus, il y a émission de photons de fréquence ; leur direction et leurs phases sont aléatoires.

L'émission spontanée se traduit donc par une variation dN2 de la population du niveau E2 selon la relation :

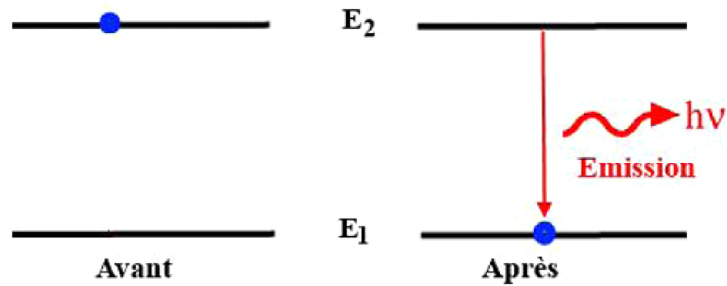


FIGURE 2.4: Emission spontanée

dN2 = -dN1 = -A21N2dt

A21est appelé : ''coefficient" ou**probabilité d'émission spontanée d'Einstein**.

Il est inversement proportionnel à τ: A21=

Cette désexcitation est à l'origine des processus radiatifs observés dans les sources dites classiques. Elle se fait sans direction privilégiée: elle est isotrope.

c) Emission stimulée

C'est le processus réciproque de l'absorption. En présence d'un champ, un photon d'énergie précisément égale à induit un atome à effectuer une transition du niveau supérieur E2 vers le niveau inférieur E1: l'atome émet un second photon dont, non seulement la fréquence , mais toutes les autres caractéristiques (direction, phase, polarisation, ...) sont identiques à celle du photon inducteur. Cette création d'un second photon résulte d'un couplage entre l'onde incidente et le système atomique s'apparentant aux résonances rencontrées dans les phénomènes vibratoires. Le système atomique recevant un photon en fournit un second: il agit donc en amplificateur de rayonnement. C'est ce processus de l'émission stimulée qui est à l'origine du fonctionnement du laser (Fig. I.5).

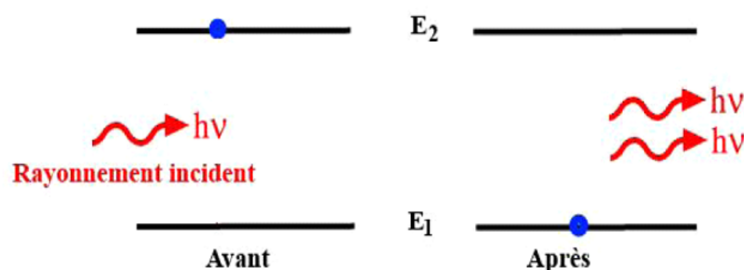


FIGURE 2.5: Emission stimulée

La variation de la population N2 pendant dt est égale à :

$dN2 = -B21\rho()N2dt$

B_{12} est appelé : coefficient d'Einstein correspondant à la probabilité d'émission stimulée.

d) Relations d'Einstein L'absorption, l'émission spontanée et l'émission induite se produisent en même temps dans la même population d'atomes; les variations totales de N1 et N2 sont donc données par l'addition des trois phénomènes. Les équations d'évolution des populations des états considérés s'écrivent :

$$= B_{12}\rho()N_1 - B_{21}\rho()N_2 - A_{21}N_2$$

Lorsque l'équilibre thermique est atteint :
- =0 ou $\rho() = A21/(B12–B21)$

D'où les relations d'Einstein: $g_1 B_{12} = g_2 B_{21}; A_{21}/B_{21} = 8hc\nu^3/c^3$

Dans la suite, on suppose que les niveaux ne sont pas dégénérés : g1 = g2 et B12

2.2.4 Condition d'amplification

Pour qu'il y ait amplification du rayonnement par traversée du milieu atomique, il faut que l'émission stimulée soit plus forte que l'absorption :
* l'énergie absorbée par le milieu est: $g1B12\rho(\nu)N2h\nu$
* l'énergie gagnée par le rayonnement est : $g1B12\rho(\nu)N2h\nu$
D'où la variation d'énergie : $dE = B12\rho(\nu)g1(N1 - N2)h\nu$
A l'équilibre thermodynamique, dE < 0 puisque N2 < N1 d'après la loi de Boltzmann. Pour qu'il ait amplification du rayonnement, il faut que N2 > N1, il faut donc créer ce qu'on appelle une inversion de populations.
Ainsi si : N2 - N1 < 0, le rayonnement incident est absorbé ;
Si : N2 = N1, c'est le phénomène de saturation ;
Si : N2 - N1 > 0, le rayonnement incident est amplifié (le système est donc horséquilibre thermodynamique). Cette inversion est réalisé par plusieurs techniques, le pompage optique, décharge électrique, réactions chimiques, ...

2.2.5 Pompage : Création d'une Inversion de population

La seule découverte de l'émission stimulée n'a pas été suffisante pour créer des lasers. En effet, dans la matière, les atomes sont beaucoup plus nombreux dans l'état non excité que dans l'état excité. Il n'est donc pas possible de provoquer assez d'émission stimulée pour produire de la lumière laser. Il fallait trouver une moyenne de renverser la tendance et d'obtenir dans le milieu plus d'atomes excités que d'atomes au repos. Ce processus est appelé inversion de population. Donc, obtenir l'inversion de population, c'est créer plus d'atomes excités que d'atomes non excités.
Lorsque le milieu actif d'un laser comprenait seulement deux niveaux (l'état fondamental et un état excité), il serait impossible de placer la majorité des atomes dans l'état excité. C'est pourquoi les systèmes atomiques ou moléculaires couramment utilisés fonctionnent soit sur trois niveaux soit sur quatre niveaux, soit encore avec un transfert résonant d'énergie. La figure I.6résumeles principaux systèmes atomiques rencontrés dans les lasers.

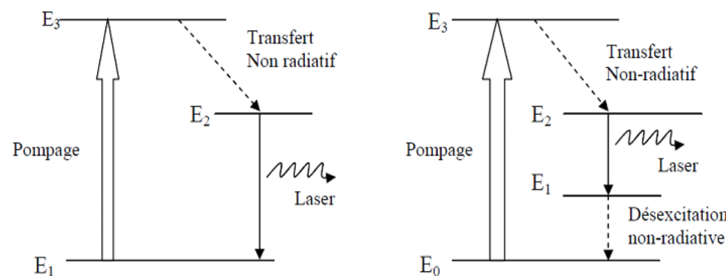


FIGURE 2.6: Système laser à 3 niveaux ou 4 niveaux

2.2.6 Réaction optique-résonateur laser

Pour obtenir un effet laser efficace, on place le milieu optiquement actif, c'est-à-dire les atomes qui subissent l'inversion de population et l'émission stimulée, dans une cavité entre deux miroirs disposés face à face. Ainsi, chaque photon fait plusieurs allers et retours; d'où un nombre plus important d'émissions induites par lui-même. Il reste à aménager une "ouverture" pour qu'une partie du rayonnement s'échappe de la cavité: c'est le rayon laser. Pour ce faire, il suffit que l'un des deux miroirs soit partiellement réfléchissant (Fig. I.7).
La longueur d'onde ou la fréquence du faisceau émis dépend des dimensions de la cavité. En effet, la longueur d'onde des ondes lumineuses allant et venant dans la cavité et donnant lieu à l'effet laser doit être un diviseur entier de la longueur de la cavité. Sans cela, il se produirait des interférences destructives entre les ondes se propageant dans

un sens et celles se propageant dans l'autre. Pour obtenir la longueur d'onde désirée, on peut donc jouer sur la longueur de la cavité.

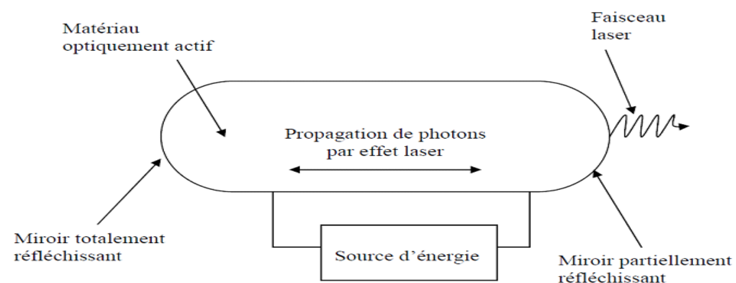


FIGURE 2.7: Schéma de principe d'un laser

Chapitre 3

APPLICATIONS EN DERMATOLOGIE

La dermatologie est la spécialité médicale dédiée aux soins de la peau, des muqueuses, des ongles, des poils et des cheveux. Les dermatologues diminuent les douleurs et les démangeaisons liées aux affections dermatologiques, les problèmes de sudation, et souvent les infections sexuellement transmissibles. Les traitements dermatologiques peuvent être locaux, sous forme de crème ou d'antiseptique, antibiotiques, parfois chirurgicaux ou par lasers. Les affections traitées en dermatologie sont très nombreuses.

3.1 ACTION DU LASER SUR UN MILIEU BIOLOGIQUE

Lorsque la lumière heurte la surface du tissu biologique une partie du rayonnement est réfléchie à l'interface et l'autre pénètre dans le milieu.
Deux phénomènes se produisent au niveau du rayonnement transmis : il y a la diffusion et l'absorption (Fig. II.1).

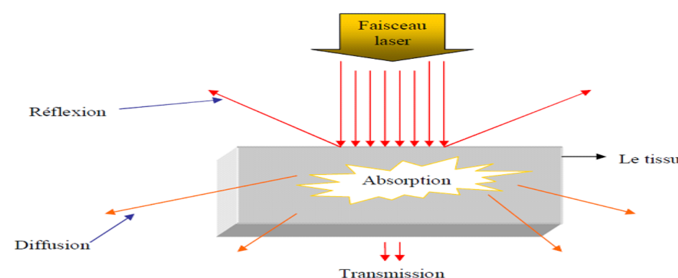


FIGURE 3.1: phénomènes optiques de l'interaction laser – tissu

3.1.1 la réflexion

La réflectivité du matériau, rapport de l'énergie lumineuse réfléchie et de l'énergie lumineuse incidente, est notée R. La fraction d'énergie pénétrée dans le tissu
$\varepsilon = 1 - R$
est appelé émissivité.
La connaissance précise de la réflectivité des tissus est importante car elle peut atteindre des valeurs élevées (par exemple : 30 à 50 du faisceau argon est réfléchis par la peau). Cependant, pour les longueurs d'onde, supérieures au visible, la réflexion tend à diminuer considérablement.

3.1.2 la diffusion

La diffusion optique est une interaction de la lumière avec la matière dans laquelle la direction du rayonnement incident est modifiée par des hétérogénéités (molécules ou petites particules présentes dans le milieu). La diffusion joue un rôle important dans la distribution spatiale de l'énergie absorbée. Lorsque la lumière est peu absorbée (rouge et proche infrarouge), la pénétration en profondeur du faisceau serait importante, si elle ne décroissait pas rapidement à cause de la diffusion. La probabilité de subir un événement de diffusion est donnée par :

$P_{diff} = 1 - e^{s.\ell}$

μ_s : coefficient de diffusion dépendant de l'énergie des photons et de la nature du milieu traversé.
ℓ : la longueur parcourue.

3.1.3 L'absorption

L'absorption d'un photon incident sur une molécule se produit lorsque l'énergie de ce photon correspond à une énergie de transition électronique, vibrationnelle ou rotationnelle de la molécule. Cette énergie absorbée par la molécule est essentiellement transformée en chaleur dans les tissus biologiques.

La probabilité de subir une absorption est donnée par :$P_{abs} = 1 - e^{s.\ell}$

a : coefficient d'absorption
ℓ:la longueur parcourue.

L'absorption est fonction du couple longueur d'onde - chromophore (Fig. II.2).
La plupart des molécules organiques ont une forte absorption dans l'ultraviolet. Aussi, les profondeurs de pénétration dans l'U.V. sont extrêmement faibles (quelques microns). Dans le visible (bleu, vert, jaune) l'absorption s'effectue principalement au niveau de l'hémoglobine et de la mélanine.

Le rouge et le proche infrarouge (0,6 à 1,2 m) sont peu absorbés et pénètrent profondément dans les tissus (cette pénétration est cependant limitée par la diffusion optique). Ensuite, dans l'infrarouge moyen et lointain, c'est l'eau qui absorbe intensément la lumière.

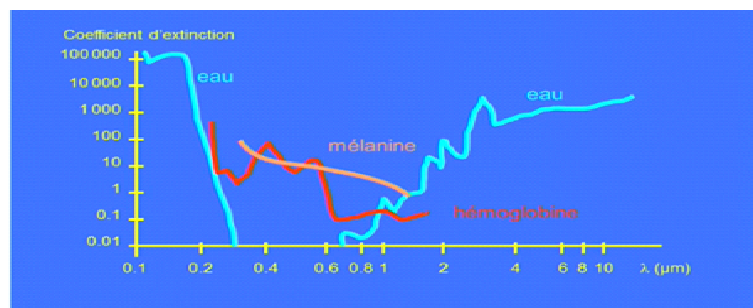


FIGURE 3.2: Spectre d'absorption des 3 principaux chromophores des tissus(eau, hémoglobine et mélanine)

3.2 LES LASERS EN DERMATOLOGIE

L'utilisation de la lumière laser en dermatologie remonte à plusieurs années et comme la peau occupe une place privilégiée dans le corps humain, il ya un grand nombre d'applications tel que : l'épilation, les taches sur la peau, les rides, les varicosités, la couperose, les angiomes plans etc.

3.2.1 Structure de la peau

La peau humaine est un tissu conjonctif complexe constitué de trois couches stratifiées : l'épiderme, le derme et l'hypoderme dont l'épaisseur et la structure biologique sont très différentes (Fig. II.3).

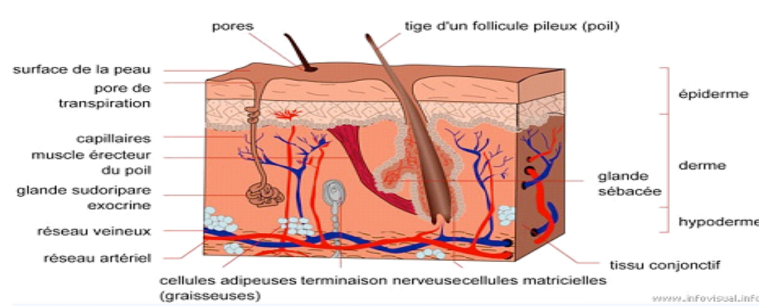


FIGURE 3.3: schéma de la structure de la peau

3.2.1.1 L'épiderme

Revêtement le plus externe, l'épiderme est la première couche de protection de l'organisme (Fig. II.4). Il est formé de 4 couches cellulaires la couche basale, la couche malpighienne, La couche granuleuse et la couche cornée.

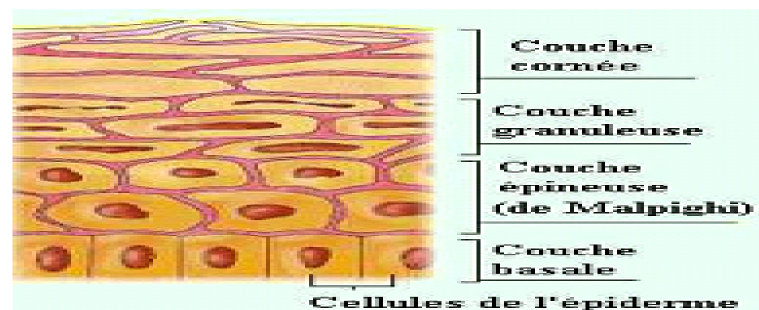


FIGURE 3.4: les différentes couches de l'épiderme

3.2.1.2 Le derme

Sous –jacent à l'épiderme, le nourrit et le soutient, il est formé d'un réseau dense de fibres entrecroisées, fibres collagènes d'une part, qui confèrent au derme sa résistance aux forces de pression, fibres élastiques d'autre part, qui donnent à la peau son élasticité. Le derme est richement vascularisé, par un réseau de vaisseaux sanguins aussi fins que des cheveux, d'où leur nom de capillaires ; ceux-ci nourrissent l'épiderme et assurent les échanges thermiques entre l'organisme et le milieu extérieur.
Le derme contient aussi un réseau nerveux d'une grande densité, de l'ordre de 10000 fibres nerveuses par mm^2 ; la plupart de ces fibres sont sensitives ; elles font de la peau un organe sensoriel majeur, sensible au toucher, à la chaleur, à la pression.

3.2.1.3 l'hypoderme

Situé au-dessous du derme, est un matelas graisseux formé de cellules claireschargées de graisses. Il amortit les pressions exercées sur la peau, contribue à protéger les organes profonds. Il représente aussi une réserve d'énergie pour l'organisme.

3.2.2 Les caractéristiques de la cible

L'utilisation de laser en dermatologie est fondée sur la grande directivité de la lumière. On peut caractériser une cible par sa situation, sa coloration et sa taille.

- La situation

Lorsque la lumière traverse la peau, elle est diffusée et partiellement absorbée avant d'atteindre la cible. La capacité de la lumière de pénètre dans un tissu varie avec sa longueurd'onde.
L'intensité de la lumière disponible à l'endroit de la cible dépend de sa profondeur.

- La coloration

La coloration de la cible est corrélée avec le spectre d'absorption des chromophores qu'elle contient dans la peau. Les principaux chromophores sont :

- La mélanine, dont l'absorption diminue avec l'augmentation de la longueur d'onde

(cibles brunes).

- L'hémoglobine et l'oxyhémoglobine : l'oxyhémoglobine a des pics d'absorption à 400, 540 et 577nm (cibles rouges).

-Les pigments de tatouage (cibles noires, vertes ou jaunes).

- L'eau qui absorbe fortement la lumière de certains lasers émettant dans l'infrarouge, notamment des lasers Yag et CO_2.

- La taille

Une cible contenant des chromophores en concentration élevée et irradiée avec une lumière fortement absorbée par ces derniers sera chauffée si l'on souhaite un échauffent localisé, donc sélectif; l'irradiation doit être terminée avant qu'une partie substantielle de la chaleur apportée ne soit perdue par conduction, autrement dit, la durée d'irradiation doit être plus courte que le temps de relaxation thermique, ce temps dépend de la taille de la cible.

3.3 Les lasers utilisés en Dermatologie

Les lasers sont classés, en gros, en trois catégories selon leur champ d'application :
les lasers pour vaisseaux, pour pigments et lasers chirurgicaux ou ablatifs. Le tableau ci-dessous résume les longueurs d'ondes d'absorption et les altérations cutanées obtenues.

Laser	Longueur d'onde	Application
CO2 impulsionnel	10.6m	Resurfaçage
Erbium:YAG impulsionnel	2.94m	Resurfaçage
Er:Glassavec refroidissement	1.54m	Remodelage
Laser Diode avec refroidissement	1.45m	Remodelage
Nd:YAG-avec refroidissement	1.32m	Remodelage
Nd:YAG Q-Switched	1.06m	Dépigmentation - Détatouage
Nd:YAG milliseconde	1.06m	Epilation vasculaire
Diode milliseconde avec Refroidissement	950 nm	Remodelage

3.3.1 laser Néodyme : YAG

Le milieu actif est un solide : le Grenat d'Yttrium et l'Aluminium Y3Al5O12 dopé par une terre rare (Fig. II.4).

Le laser à néodyme peut osciller sur plusieurs raies, le plus dominante à une longueurd'onde de 1.064m (émet dans le proche infrarouge), il peut fonctionner en mode continu quipeut atteindre quelque kilowatts ou impulsionnel (relaxé ou déclenché d'une puissance crêtetrès élevée de l'ordre du gigawatt). Ce type de laser permet d'obtenir un effet de photo coagulation plus profond et un effet de vaporisation plus important que le laser à argon. Il existe des lasers d'émission super pulsé permettant d'obtenir un effet de vaporisation efficace et moins nécrosant en profondeur, avec des impulsions de quelques dizaines de

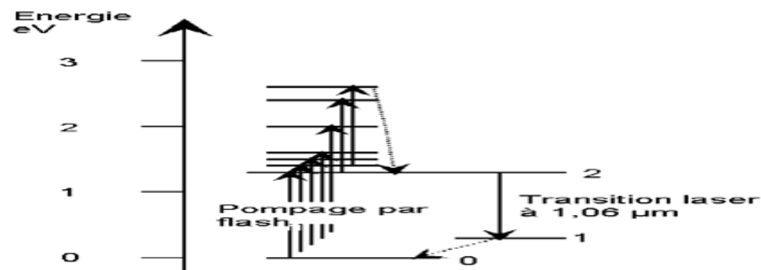


FIGURE 3.5: Schéma énergétique du laser yag

watts.

Dans le tableau suivant, on donne les propriétés du laser Nd-Yag :

Cavité Laser	Réfléchissante (double ou simple ellipse) - Diffusante
Refroidissement	Eau
Milieu actif	Barreau cylindrique
Pompage	0.94 m, 1.06 m, 1.3 m, 1.7 m, 2.1 m
Fonctionnement	Lampe flash - Diodes laser

3.3.2 Laser à CO2

Le laser CO2(Fig. II.5) a été créé en 1964 par Patel. Ce laser est un laser à 4 niveaux qui peut fonctionner en mode continu ou pulsé (miroirs tournants).

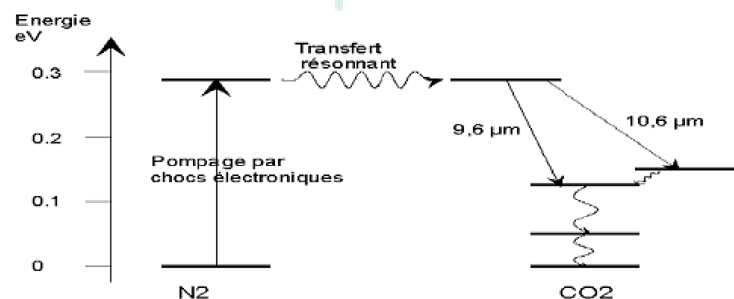


FIGURE 3.6: Diagramme des niveaux d'énergie de la molécule de CO2

Le laser CO2 est un laser moléculaire à gaz émettant dans l'infrarouge moyen soit 10.6m ou 9.6m. La molécule active donnant lieu à l'émission laser est excité vibrationnellement et rotationnellement. Le milieu actif est constitué d'un mélange CO2/N2/He (dioxyde de carbone, diazote, hélium) dans les proportions valant typiquement 5

Cavité Laser	1. Tube scellé en verre 2. Guide d'onde à tube scellé 3. Flux axial ou longitudinal lent ou rapide 4. Flux transverse rapide
Refroidissement	Air(3)-Eau(1,3,2)-Huile(3)- Echangeur thermique (4)
Milieu actif 9 – 11 m	Mélange: CO2 6 Longueur d'onde
Pompage	Décharge électrique HT Excitation HF

3.3.2.1 laser à excimère

C'est le seul type de laser chimique. Le matériau responsable de l'émission de lumière est un mélange d'atomes gazeux qui ne forme une molécule que lorsqu'ils sont dans un état excité, d'où le nom d'exciplexes ou excimères. L'émission de lumière s'opère en un temps très court, de l'ordre de quelques nanosecondes, lié à la faible durée de vie de l'état excité. Les mélanges les plus utilisés sont XeC (= 308 nm) et ArF (= 193 nm). Ces halogénures de gaz rares émettent donc dans l'ultraviolet. A ces longueurs d'ondes très courtes, l'interaction lumière matière n'est plus totalement thermique. L'énergie des photons est telle qu'elle casse les liaisons moléculaires au cœur du matériau qui absorbe. Les puissances émises sont de l'ordre d'une centaine de watts et les cadences de répétition dépassent rarement les 500 Hz.

3.3.2.2 laser à semi-conducteur

Ce laser est principalement constitué d'une diode à semi-conducteur afin de produire un faisceau lumineux. Le pompage se fait à l'aide d'un courant électrique qui enrichit le milieu générateur en trous d'un côté et en électrons de l'autre.
Les systèmes médicaux à base des diodes lasers, du fait de l'excellent rendement des diodes (puissance émise pour une consommation électrique donnée) sont compacts (de la taille d'un boîtier de micro-ordinateur), alimentés sur une prise de courant ordinaire et refroidis par un simple ventilateur. Les diodes lasers émettent le plus souvent en continu dans le proche infrarouge et le visible.

3.3.3 Applications en dermatologie

3.3.3.1 Détatouage

Lorsqu'une personne souhaite faire disparaître un tatouage, les nouvelles techniques mises en œuvre font appel à des lasers Q-Switched (rubis, Yag ou alexandrite). Le laser induit alors un phénomène mécanique de fragmentation des particules minérales, qui constituent le tatouage (Fig. II.6).

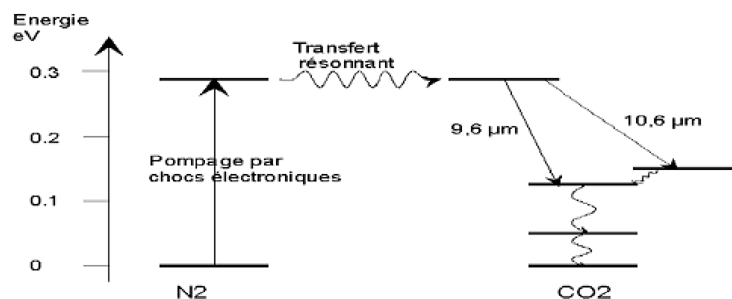


FIGURE 3.7: Avant le traitement Après le traitement

On peut effacer les tatouages amateurs, professionnels ou cosmétiques. La performance du traitement est essentiellement liée à la profondeur de l'encre (qui peut nécessiter un nombre plus ou moins important de séances) mais également à la couleur du tatouage. Les couleurs que l'on efface le plus facilement sont le bleu, le noir et le rouge.

3.3.3.2 Resurfaçage

Il s'agit d'un traitement par laser visant, à partir d'une stimulation intense de la peau, à obtenir une modification de la texture de celle-ci et une correction d'un certain nombre de rides. Le laser va entraîner d'une part une destruction superficielle de l'épiderme et un effet thermique dans la partie sous jacente, le derme. Cette agression maîtrisée va entraîner une stimulation intense de la peau avec une régénération de l'épiderme qui va prendre un aspect plus lisse et une densification du derme qui va donner une meilleure tenue de la peau, permettant l'atténuation et la disparition d'un certain nombre de rides.

3.3.3.3 Epilation par laser

L'épilation par laser est une technique maintenant reconnue. Plusieurs mécanismes d'action peuvent être utilisés : soit une action photochimique, soit une action photomécanique, soit une action thermique. Il est beaucoup trop tôt pour tirer des conclusions quant aux essais de photothérapie dynamique. Le chromophore que l'on cherche

à atteindre est ici la mélanine présente dans la tige mais aussi et surtout dans le bulbe pilaire. Il est ainsi possible de définir une fenêtre thérapeutique entre 600 et 1200 nm, qui correspondent à un compromis convenable entre une absorption sélective correcte par le chromophore et une pénétration suffisante pour atteindre le bulbe. Le recours à des systèmes de refroidissement permet enfin d'améliorer la sélectivité thermique.

Chapitre 4

Conclusion

L'utilisation du laser en médecine, particulièrement en dermatologie, s'est largement répandue au cours de ces dernières années. C'est ainsi que nous avons mis au point, dans ce mémoire de fin d'étude, l'utilité du laser dans le détatouage et le resurfaçage de la peau, et souligné son intérêt dans l'épilation. Nous avons ainsi présenté les différents lasers couramment utilisés dans ce domaine de médecine: Laser Néodyme : YAG; Laser à CO2 et Laser à excimère.

REFERENCES

- http://najib-spectra.yolasite.com/phys-atomique.php
- http://www.medecin-laseriste.com/LasersLaRochelle2011.pdf
- http://users.ictp.it/ barhdadi/MEMOIRE
- http//:www.atlas.dermatologie.org
- F.Cambozard les angiomes immatures du nourrisson pédiatrie,
- Vol.43, p.427-431(1988)
- http// :www.erythro-resurficage.fr
- http//:www.erythro-detaouage.fr
- http//:www.erythro-epilation.fr

Annexe A

Manuel de Latex

A.1 Introduction

Ce petit manuel vous permet de prendre en main le logiciel LaTeX. Selon le dicton "un exemple vaut mieux qu'un long discours", on propose de donner quelques exemples d'insértion des tableaux, figures, equations, etc. Le code LaTeX de chaque exemple est donné dans le fichier AnnexeA.tex.

NB/ Les fichiers Latex.pdf, symbols.pdf et ltxdoc.pdf donnent des exemples concrets sur les points saillants mentionnés précédemment (les Equations, insertion des Figures, Tableaux, les Listes, etc.).

L'ajout des références, se fait au niveau du fichier Bibliography.bib. Pour gérer/ajouter des références, il faut installer l'appliaction Jabref qui est un logiciel de gestion bibliographique libre.

Pour citer une référence, utiliser la commande `\cite{Reference2}` : [?]

Utiliser l'instruction `\textbf{texte}` pour mettre **le texte en gras**

Se référencer à la page web www.commentcamarche.net/contents/625-latex-mise-en forme pour de plus amples informations sur la Mise en forme en Latex,

A.2 Insértion des caractères spéciaux

Pour insérer un symbole dans le texte, il faut mettre son nom entre deux symboles `$`.

Exemples :

- `$\Delta$` donne Δ.
- `$\overline{abc}$` donne $\overline{abc}$.
- $f(z) = \begin{cases} \overline{\overline{z^2}+\cos z} & \text{for } |z| < 3 \\ 0 & \text{for } 3 \leq |z| \leq 5 \\ \sin \overline{z} & \text{for } |z| > 5 \end{cases}$

A.3 Les Listes

A.3.1 Listes simples

Pour insérer une liste simple, il faut utiliser l'instruction `\begin{itemize} ... \end{itemize}`. chaque élément d'une liste devant commencer par `\item`.

Exemple :

- texte1
- texte2
- texte3

A.3.2 Listes numérotées

Pour insérer une liste simple, il faut utiliser l'instruction `\begin{enumerate} ... \end{enumerate}`. chaque élément d'une liste devant commencer par `\item`.

Exemple :

1. texte1
2. texte2
3. texte3

A.4 Les Tableaux

Pour insérer un tableau, il faut utiliser l'environnement tabular qui s'utilise de la manière suivante :

```
\begin{tabular}{pos}
champ1 & champ2... \\ % ligne 1
champ1 & champ2... \\ % ligne 2
:
\end{tabular}
```

pos	définit la position du texte dans chaque colonne, l pour left, c pour center, r pour right;
`&`	définit le passage à la colonne suivante ;
`\\`	définit un passage à la ligne suivante.

Quelques exemples :

A.4.1 Exemple simple d'un tableau avec colorisation des cellules:

la commande `\rowcolor{color}` permet de coloriser les cellules. color prend les valeurs, black, white, red, green, blue, cyan, magenta, yellow. A déplacer dans la cellule de votre choix.

Champ 1	Champ2
Champ3	Champ4
Champ5	Champ5.

TABLE A.1: Ecrire Votre légende ici.

A.4.2 Exemple d'un tableau avec fusion de cellules

L'instruction `\multicolumn` permet de fusionner les colonnes alors que l'instruction `\multirow` fusionne les lignes.

ligne1 champ1	champ2	champ3	1.23
ligne2 champ1	champ2 + champ3		12.3
ligne3 champ1	champ2	champ3	12.34

TABLE A.2: Ecrire Votre légende ici.

Methods	Parameters	Mean value of VINET
SRM	Q= 600	85%
	Q= 800	85,6%
	Q= 1500	87,5%
	Q= 3000	86%
CSC	t=5	67,5%
	t=8	82%
	t=12	81,5%
	t=15	78,5%

TABLE A.3: Mean value of VINET criterion.

A.4.3 Exemple d'un tableau avec changement de la taille des cellules

Par exemple, l'insertion M3cm donne une taille de 3cm à la cellule où elle est placée . Enlever la barre verticale dans un emplacement donné |M3cm, implique la suppression de la ligne correspondante dans le tableau. Ainsi, le tableau A.4 devient :

Gradient / Invariant	Carron	Dizenzo	MGradient	GradientC
RGB	71.3%	**83.5%**	61.6%	**83.8%**
Greyworld	75.2%	**85%**	63%	**84.7%**
MaxRGB	75.5%	**84.5%**	63.3%	**84.6%**
M-intensity	76%	**84%**	63.3%	**84.5%**
RGB-rang	61%	77%	59.5%	80.6%
N-affine	75%	**84.5** %	63.8%	**84.1** %
$c_1c_2c_3$	55%	60%	51.6%	52.4%
$m_1m_2m_3$	46%	54%	49%	52%
$l_1l_2l_3$	52%	47%	44.7%	25.5 %

TABLE A.4: Votre légende ici.

Gradient / Invariant	Carron	Dizenzo	MGradient	GradientC
RGB	71.3%	**83.5%**	61.6%	**83.8%**
Greyworld	75.2%	**85%**	63%	**84.7%**
MaxRGB	75.5%	**84.5%**	63.3%	**84.6%**
M-intensity	76%	**84%**	63.3%	**84.5%**
RGB-rang	61%	77%	59.5%	80.6%
N-affine	75%	**84.5** %	63.8%	**84.1** %
$c_1c_2c_3$	55%	60%	51.6%	52.4%
$m_1m_2m_3$	46%	54%	49%	52%
$l_1l_2l_3$	52%	47%	44.7%	25.5 %

TABLE A.5: Votre légende ici.

A.5 Les Figures

Les figures et les images doivent être stockées dans le réprtoire Img.

Etant donné que l'on ne dispose que de deux images (IT.png et Lastid.png), il est donc naturel qu'elles soient rencontrées dans les exemples donnés ci-dessous.

A.5.1 Insértion d'une simple figure

La figure A.1 illustre le logo de l'Université Ibn Tofail. Les instructions width et height permettent de modifier resepectivement la largeur et la hauteur de la figure.



FIGURE A.1: Logo de Ibn Tofail

A.5.2 Insértion des figures dans un tableau

Insertion des figures dans un tableau (cf. Figures A.2 et A.3).



FIGURE A.2: Insertion des figures dans un tableau

A.5.3 Placement des figures côte à côte

Placement des figures côte à côte avec l'instruction minipage (cf. Figures A.4)

A.6 Les Equations

Pour insérer une liste simple, il faut utiliser l'instruction `\begin{equation} ... \end{equation}`.



FIGURE A.3: Exemple 2 .



FIGURE A.4: Placement des figures côte à côte avec l'instruction minipage .

$$x = \frac{A}{B} \tag{A.1}$$

$$y = \sqrt{x^2} \tag{A.2}$$

$$\frac{1}{X_S} = \frac{4\pi}{\alpha^2} N \left[\frac{Z^{4/3}\ r_e^2}{A\beta^2} \right] \tag{A.3}$$

$$x = \begin{cases} y & \text{si } y > 0 \\ z + y & \text{sinon} \end{cases} \tag{A.4}$$

$$\lim_{t\to\infty} u(x,t) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{l}{\pi kc} \right)^2 a_k \sin\left(\frac{\pi k}{l} x \right) \equiv v(x) \tag{A.5}$$

$$f(x) = \int \frac{\sin x}{x}\, \mathrm{d}x \tag{A.6}$$

$$f(x) = \prod_{i=1}^{n} \left(i - \frac{1}{2i} \right) \tag{A.7}$$

$$\left.\begin{array}{rrcrr} \text{a)} & y & = & c & (constant) \\ \text{b)} & y & = & cx + d & (linear) \\ \text{c)} & y & = & bx^2 + cx + d & (square) \\ \text{d)} & y & = & ax^3 + bx^2 + cx + d & (cubic) \end{array}\right\} \text{Polynomes} \tag{A.8}$$

L'environnement eqnarray permet d'aligner une formule sur 3 colonnes, à gauche. On passe d'une colonne à l'autre par `&` et d'une ligne à l'autre par `\\` . Chaque ligne est numérotée sauf si `\\` est précédé de la commande `\nonumber` (si l'on ne veut aucun n^{o}, on utilise eqnarray*).

$$u_t - c^2 u_{xx} = g(x,t), \tag{A.9}$$

$$u(x,0) = 0,$$

$$u_x(0,t) = u_x(l,t) = 0. \tag{A.10}$$

$$\begin{aligned} y &= d \\ y &= cx + d \\ y &= bx^2 + cx + d \\ y &= ax^3 + bx^2 + cx + d \end{aligned} \tag{A.11}$$

$$\begin{array}{ccccc} \text{left} & & \text{middle} & & \text{right} \\ \frac{1}{\sqrt{n}} & = & \tfrac{\sqrt{n}}{n} & = & \frac{n}{n\sqrt{n}} \end{array}$$